

СИНТЕЗ ФИЛЬТРА БАТТЕРВОРТА 1 ПОРЯДКА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

И. С. Миронов, В. С. Зиновенко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Д. В. Комнатный

В современной электронике присутствует необходимость борьбы с широкополосными импульсными помехами, диапазон частот которых достигает нескольких мегагерц. Существует несколько способов уменьшения энергии таких помех, одним из которых является применение частотных фильтров. В литературе синтез подоб-

ных фильтров описан недостаточно полно. В данной работе рассмотрен синтез фильтра Баттерворта 1 порядка, представляющий собой RLC -цепь, показанную на рис. 1. Предполагается, что фильтр нагружен по входу и выходу на неравные конечные сопротивления, в докладе принято $R = 100$ Ом и $R_H = 900$ Ом.

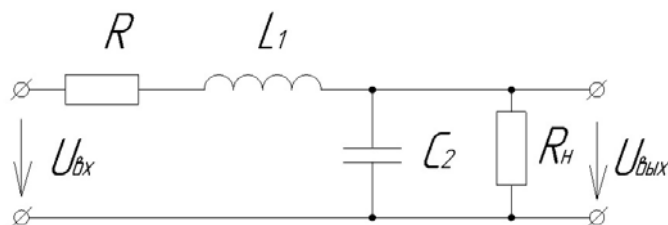


Рис. 1. Схема фильтра Баттерворта 1 порядка.

Предполагается, что на вход фильтра действует биэкспоненциальный импульс помехи, спектр которого имеет вид:

$$S(\omega) = \frac{U(\alpha_2 - \alpha_1)}{\sqrt{(\alpha_1 \cdot \alpha_2 - \omega^2) + \omega^2(\alpha_1 - \alpha_2)}};$$

$$U = 6000 \text{ В};$$

$$\alpha_1 = 9,324 \cdot 10^7;$$

$$\alpha_2 = 3,871 \cdot 10^8.$$

Указанные параметры обеспечивают полосу частот в диапазоне:

$$\omega \in (0 \div 3 \cdot 10^8) \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Рассматриваемая помеха имеет энергию, по теореме Рэлея:

$$W = \frac{1}{2\pi} \int_0^{3 \cdot 10^8} (S(\omega))^2 d\omega = 0,042 \text{ Дж}.$$

Спектр помехи представлен на рис. 2

Биэкспоненциальным импульсом может быть описана большая группа электромагнитных помех: электростатический разряд, коммутационные помехи, сверхширокополосные импульсы преднамеренного воздействия.

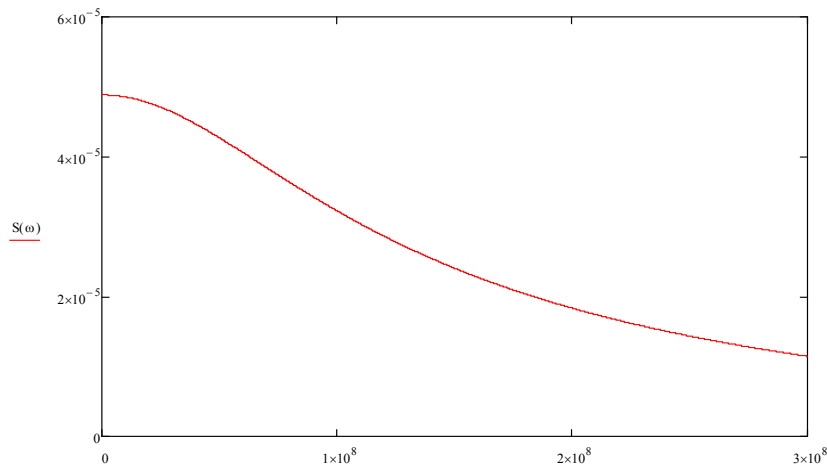


Рис. 2. Спектр рассматриваемой помехи

Синтез фильтра производится на основе полиномов Баттерворта:

$$\alpha_v = 2 \sin\left(\frac{2v-1}{n} \frac{\pi}{2}\right);$$

$$b_v = \frac{1}{b_v - 1} \left(b_0^2 - b^2 \sin^2\left(\frac{2v-1}{n} \frac{\pi}{2}\right) \right);$$

$$g_v = \frac{a_v}{b_v};$$

$$L = \frac{g_v \cdot R_H}{\omega};$$

$$C = \frac{g_v}{\omega R_H}.$$

С помощью теории четырехполюсников можно показать, что передаточная функция рассматриваемого фильтра имеет вид:

$$H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 \cdot LC + RG_H)^2 + (\omega RC + \omega LG_H)^2}};$$

$$G_H = \frac{1}{R_H}.$$

Выходной спектр помехи определяется:

$$S_B(\omega) = S(\omega)H(\omega).$$

Спектр помехи на выходе фильтра представлен на рис. 3.

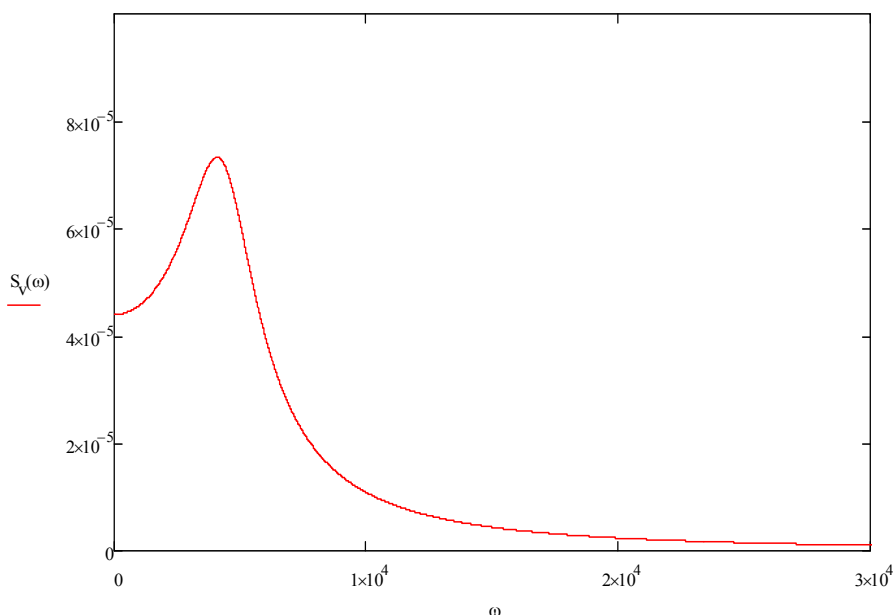


Рис. 3. Спектр рассматриваемой помехи при прохождении через фильтр

При этом энергия помехи значительно уменьшается и по теореме Рэлея составляет:

$$W = \frac{1}{2\pi} \int_0^{3 \cdot 10^8} (S_v(\omega))^2 d\omega = 1,044 \cdot 10^{-11} \text{ Дж.}$$

Представленные расчеты позволяют сделать вывод, что полоса частот помехи и заключенная в ней энергия после прохождения фильтра снижаются весьма значительно. В результате фильтрации энергия помехи не представляет опасности для современной элементной базы. На рис. 3 виден явный, но незначительный пик, вызванный резонансом напряжений в цепи фильтра. Этот пик не оказывает влияния на подавление помех, однако может произвести нежелательное усиление составляющих полезного сигнала. Это усиление может оказать вредное влияние. Поэтому при проектировании фильтра частота среза должна выбираться с учетом этого обстоятельства. Фильтрация эффективна, если спектр полезного сигнала занимает полосу частот значительно меньшую, чем полоса частот помехи.

Рассмотренный фильтр первого порядка отличается пологим спадом амплитудно-частотной характеристики. Улучшить характеристику можно, применяя многозвенные фильтры более высокого порядка. Эти фильтры оказываются достаточно громоздкими, что затрудняет их практическое применение.

Для обеспечения работы реального фильтра необходимо применять специальные конструкции дросселей и конденсаторов. Такие конструкции позволяют избежать влияния паразитных параметров элементной базы на свойства фильтра.